
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2012/2013 Academic Session

January 2013

EEE 443 – DIGITAL SIGNAL PROCESSING
[PEMROSESAN ISYARAT DIGIT]

Masa : 3 jam

Please check that this examination paper consists of **ELEVEN (11)** pages including Appendices (3 pages) of printed material before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **SEBELAS (11)** muka surat beserta Lampiran **TIGA (3)** muka surat bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini]*

Instructions: This question paper consists **SIX (6)** questions. Answer **FIVE (5)** questions. All questions carry the same marks.

[Arahan: Kertas soalan ini mengandungi **ENAM (6)** soalan. Jawab **LIMA (5)** soalan. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama]

Answer to any question must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk setiap soalan pada muka surat yang baru]

“In the event of any discrepancies, the English version shall be used”.

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai]

1. Satu isyarat diskret masa adalah dikatakan berkala dengan panjang tempoh N , jika N adalah integer terkecil

A discrete-time signal is said to be periodic with period length N , if N is the smallest integer for which

$$x[n + N] = x[n]$$

Diberi satu isyarat analog sinus dengan frekuensi fundamental (F Hz) disampel dengan kekerapan persampelan (f_s Hz). Hasil isyarat diskret masa sinus dan kekalaan adalah diberikan sebagai

Given an analog sinusoidal signal with fundamental frequency (F Hz) is sampled with sampling frequency (f_s Hz). The resultant discrete-time sinusoidal signal, periodicity is given as

$$A \cos((n + N)\omega) = A \cos(n\omega)$$

di mana N mewakili panjang tempoh (ini bermakna sampel isyarat akan berulang pada sampel yang sama selepas sampel N)

where N represent the period length (means the signal's sample will repeat the same sample after N samples)

- (a) Tunjukkan bahawa panjang tempoh N isyarat diskret masa boleh dinyatakan sebagai

Show that the period length N of the discrete-time signal can be expressed as

$$N = \frac{f_s}{F} k$$

Di mana k adalah nilai integer

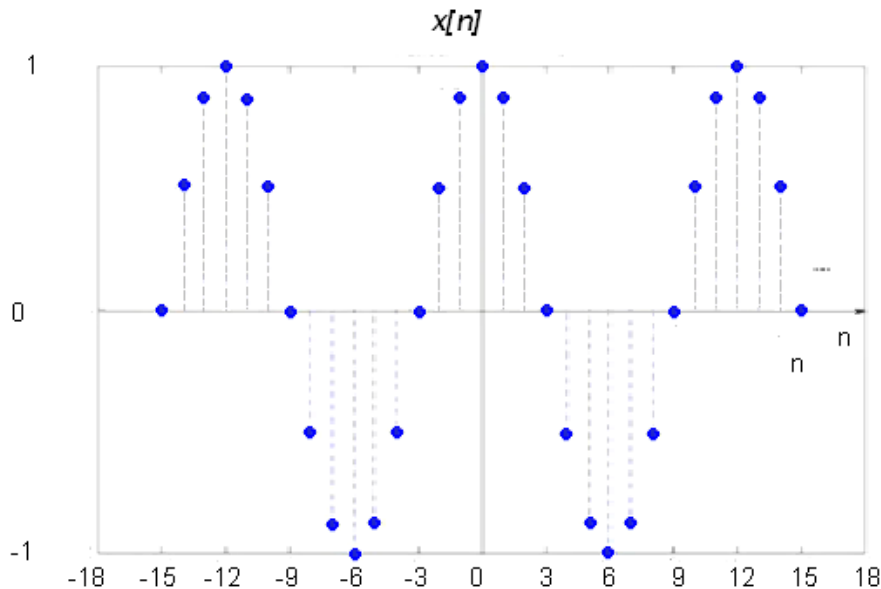
where k an integer value

(20 markah/marks)

- (b) Jalankan analisis ke atas isyarat diskret masa yang ditunjukkan di bawah dan cadangkan sepasang nilai frekuensi asas (F) dan kekerapan pensampelan (f_s) dengan menganggap bahawa teorem pensampelan adalah diikuti semasa proses pensampelan.

Analyze the discrete-time signal as shown below and suggest a pair value of fundamental frequency (F) and sampling frequency (f_s) assuming that the sampling theorem is followed during the sampling process.

(20 markah/marks)



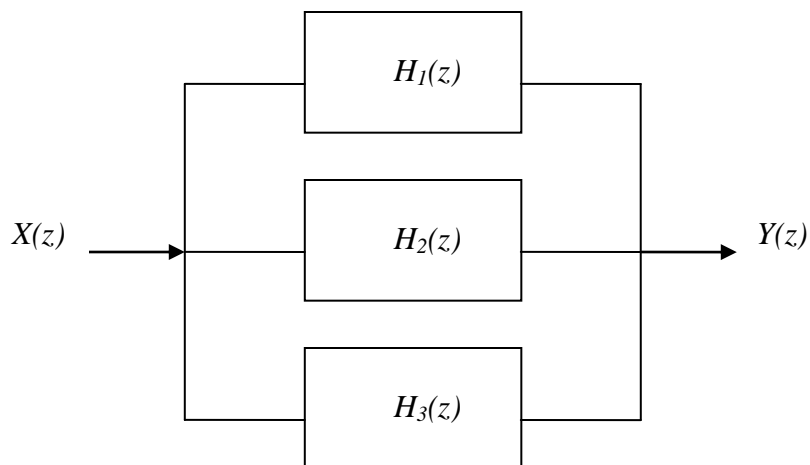
- (d) Bermula dari satu isyarat analog hasilkan isyarat diskret masa berkala $x[n]$ anda sendiri setelah melalui proses pensamplelan dan tunjukkan parameter penting seperti N , frekuensi asas (F) dan pensampelan kekerapan (f_s).

Starting from an analog signal, create your own periodic discrete-time signal $x[n]$ after sampling process and indicate the important parameters such as N , fundamental frequency (F) and sampling frequency (f_s).

(30 markah/marks)

2. Pertimbangkan satu penggabungan secara selari tiga LTI sistem isyarat diskret yang ditunjukkan dalam Rajah 2.1 di bawah di mana;

Consider the parallel of three causal first-order LTI discrete-time systems shown in Figure 2.1 below where;



Rajah 2.1
Figure 2.1

Di mana fungsi-pindah secara keseluruhan $H(z)$ adalah diberi sebagai

Where the overall transfer function $H(z)$ is given as

$$H(z) = \frac{1 + z^{-1} + 4z^{-2}}{9 + 15z^{-1} + 7z^{-2} + z^{-3}}$$

- (a) Cari fungsi-pindah bagi setiap satu $H_1(z)$, $H_2(z)$, dan $H_3(z)$

Find each of the transfer function $H_1(z)$, $H_2(z)$, and $H_3(z)$

(30 markah/marks)

- (b) Bangunkan kerealisasian untuk sistem selari keseluruhan dengan setiap bahagian dalam bentuk langsung II. Tunjukkan jalan kerja (lukisan) bagi setiap fungsi-pindah

Develop the realization of the overall parallel system with each section realized in canonic direct form II. Show the working (drawing) for each transfer function.

(20 markah/marks)

- (c) Tentukan tindakbalas impuls untuk fungsi-pindah $H(z)$ untuk keseluruhan sistem selari tersebut.

Determine the impulse response of the transfer function $H(z)$ for the overall parallel system.

(20 markah/marks)

- (d) Fungsi-pindah $H_1(z)$, $H_2(z)$, dan $H_3(z)$ digabungkan secara bersiri. Cari fungsi-pindah untuk keseluruhan sistem $H(z)$.

The transfer function $H_1(z)$, $H_2(z)$, and $H_3(z)$ are connected in series to produce a cascaded system. Determine the transfer function of the overall system $H(z)$.

(10 markah/marks)

- (e) Bangunkan kerealisasian untuk sistem keseluruhan dengan setiap bahagian dalam bentuk langsung kanonik II.

Develop the realization of the cascaded system with each section realized in canonic direct form II.

(20 markah/marks)

3. (a) Pertimbangkan jujukan $x[n]$ yang diberikan di bawah
Consider a sequence $x[n]$ a given below

$$x[n] = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq 4 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

- (i) Cari perwakilan Fourier $X(\omega)$ dengan menggunakan z-transform (meninggalkan ungkapan muktamad anda dalam fungsi sinus)

Find the Fourier representation $X(\omega)$ using z-transform (leave your final expression in term of sine function)

(30 markah/marks)

- (ii) Cari perwakilan Fourier $X(\omega)$ dengan menggunakan rumus DTFT

Find the Fourier representation $X(\omega)$ using DTFT formula

(20 markah/marks)

- (iii) Kirakan N-titik DFT yang berkaitan bagi urutan $x[n]$ yang diberikan

Compute the corresponding N-point DFT for the given sequence $x[n]$

(30 markah/marks)

- (b) Satu diskret signal untuk suara $x[n]$ adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2 di bawah.

A discrete speech signal $x[n]$ is as shown in Figure 2 below.

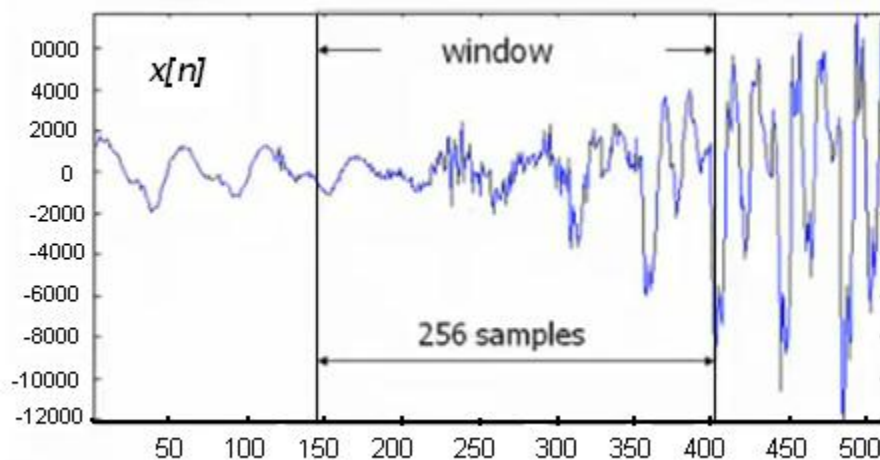


Figure 2: Discrete speech signal

Isyarat pertuturan diskret di atas telah disampel pada frekuensi pensampelan $f_s = 8,192\text{Hz}$

The above discrete speech signal is sampled at sampling frequency $f_s = 8,192\text{Hz}$

Jalankan penganalisaan ke atas isyarat diskret dalam Rajah 2, dan dapatkan perkara-perkara berikut;

Analyze the discrete signal in Figure 2, and find the following;

- (i) Komponen frekuensi f_k untuk $k = 0, 1, 2$ dan $k = N - 1$.

The frequency component f_k for $k = 0, 1, 2$ and $k = N - 1$.

(10 markah/marks)

- (ii) Apakah tempoh masa segmen bagi suara itu.

What is the time duration of segment of the speech.

(10 markah/marks)

4. Diberikan rangkap pindah tertib kedua untuk penapis digit

Given a second-order transfer function of a digital filter

$$H(z) = \frac{0.5(1 - z^{-2})}{1 + 1.3z^{-1} + 0.36z^{-2}}$$

Lakukan realisasi penapis menggunakan struktur berikut

Perform the filter realization using the following structures

- (a) Bentuk terus I

Direct form I

(20 markah/marks)

- (b) Bentuk terus II
Direct form II (20 markah/marks)
- (c) Bentuk lata menggunakan bahagian tertib-pertama dengan setiap bahagian direalisasikan dalam bentuk terus II
Cascade form using the first-order sections with each section realized in Direct form II (30 markah/marks)
- (d) Bentuk selari menggunakan bahagian tertib-pertama
Parallel form using the first-order sections (30 markah/marks)
5. (a) Tentukan tertib terendah bagi penapis rendah Butterworth yang mempunyai pelemah jalur-lulus maksima 1 dB pada 1 kHz dan pelemahan sekurang-kurangnya 40 dB pada 5 kHz.
Determine the lowest order of a low-pass Butterworth analog filter that has a maximum pass-band attenuation of 1 dB at 1 kHz and an attenuation of at least 40 dB at 5 kHz. (30 markah/marks)

- (b) Gunakan transformasi dwilelurus untuk mendapatkan penapis IIR dari tertib-kedua prototaip penapis analog Butterworth dengan 3-dB frekuensi potong 3 kHz. Kadar pensampelan untuk penapis digit adalah 30,000 sampel sesaat. Tentukan pekali penapis IIR.

Use the bilinear transformation to obtain an IIR filter from a second-order Butterworth analog prototype filter with a 3-dB cut-off frequency of 3 kHz. The sampling rate for the digital filter is 30,000 samples per second. Determine the coefficients of the IIR filter.

(50 markah/marks)

- (c) Jika anda perlu merekabentuk penapis digit untuk aplikasi yang diberikan di mana herotan fasa tidak boleh diterima, penapis manakah di antara FIR atau IIR yang anda akan pilih untuk aplikasi tersebut dan mengapa.

If you have to design a digital filter for a given application in which the phase-distortion is not tolerable, which filter type amongst FIR or IIR will you select for that application and why?

(20 markah/marks)

6. (a) Rekabentuk penapis lulus rendah 3-tap FIR dengan frekuensi potong 800 Hz dan kadar pensampelan 8 kHz menggunakan fungsi tetingkap. Tentukan pekali bagi penapis FIR.

Design a 3-tap FIR low-pass filter with a cut-off frequency of 800 Hz and a sampling rate of 8 kHz using the Hamming window function. Determine the coefficients of the FIR filter.

(60 markah/marks)

- (b) Tentukan fungsi pindah penapis FIR yang direkabentuk dalam bahagian (a) dan juga tentukan persamaan perbezaan sepadan untuk penapis ini.

Determine the transfer function of the designed FIR filter in part (a) and also obtain the corresponding difference equation for this filter.

(20 markah/marks)

- (c) Tentukan magnitud sambutan frekuensi $|H(\omega)|$ untuk penapis yang telah direkabentuk.

Determine the magnitude frequency response $|H(\omega)|$ of the designed FIR filter.

(20 markah/marks)

List of formulas:
Senarai Formula

Sambutan dedenyut penapis lulus rendah ideal
 Impulse response of an ideal low-pass filter

$$h_d(n) = \begin{cases} \frac{\sin(\omega_c n)}{n\pi} & \text{for } n \neq 0 \\ \frac{\omega_c}{\pi} & \text{for } n = 0 \end{cases}$$

where $\omega_c = 2\pi F_c T_s$ is the normalized cut-off frequency.

Dimana $\omega_c = 2\pi F_c T_s$ adalah frekuensi potong ternormal

Barlett window $w(n) = 1 - \frac{|n|}{M+1} \quad \text{for } -M \leq n \leq M$

Hanning window $w(n) = \frac{1}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{n\pi}{M}\right) \right] \quad \text{for } -M \leq n \leq M$

Hamming window $w(n) = 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{n\pi}{M}\right) \quad \text{for } -M \leq n \leq M$

Blackman window $w(n) = 0.42 + 0.5 \cos\left(\frac{n\pi}{M}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{2n\pi}{M}\right) \quad \text{for } -M \leq n \leq M$

Type of window	Peak side-lobe (dB)	Transition width of main lobe	Minimum stop-band attenuation (dB)
Rectangular	-13	$4\pi/M$	-20.9
Hanning	-31	$8\pi/M$	-43.9
Hamming	-41	$8\pi/M$	-54.5
Blackman	-57	$12\pi/M$	-75.3

Table A.1: Important frequency-domain characteristics of some window functions.
 Jadual A.1: Ciri-ciri domain-frekuensi penting untuk sesetengah fungsi tetingkap

Bilinear transformation
 Transformasi dwilelurus

$$H(s) \Big|_{s=\frac{2}{T} \left[\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right]} = H(z)$$

Butterworth low-pass prototype filter parameters
 Prototaip parameter penapis lulus-rendah Butterworth

$$|H(\Omega)|^2 = \frac{1}{1 + (\Omega/\Omega_c)^{2N}} = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 (\Omega/\Omega_p)^{2N}}$$

$$N = \frac{\log(\delta^2)}{2 \log(\Omega_s/\Omega_c)} \quad \text{where } \delta = \sqrt{\frac{1}{\delta_2^2} - 1}$$

$$N = \frac{\log(\delta/\varepsilon)}{\log(\Omega_s/\Omega_p)}$$

$$p_k = \Omega_c e^{j[\pi(N+2k-1)/2N]} \quad \text{for } k = 1, 2, 3, \dots, N$$

$$H(s) = \frac{\Omega_c^N}{\prod_{k=1}^N (s - p_k)}$$

N	Normalized Butterworth polynomials in factored form
1 st order:	$s + 1$
2 nd order:	$s^2 + 1.4142s + 1$
3 rd order:	$(s + 1) (s^2 + s + 1)$
4 th order:	$(s^2 + 1.8478 s + 1) (s^2 + 0.7654 s + 1)$
5 th order:	$(s + 1) (s^2 + 1.6180 s + 1) (s^2 + 0.6180 s + 1)$
6 th order:	$(s^2 + 1.9319 s + 1) (s^2 + 1.4142 s + 1) (s^2 + 0.5176 s + 1)$

Table A.2